

ABERASI KROMOSOM PADA PILOT DAN AWAK KABIN MASKAPAI PENERBANGAN KOMERSIAL

Dwi Ramadhani, Sofiati Purnami, dan Viria Agesti Suvifan

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya 49, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070
- dhani02@batan.go.id

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya transportasi udara komersial yang ditandai dengan semakin murah nya jasa penerbangan baik rute domestik maupun internasional, maka frekuensi pilot dan awak kabin berada di udara akan semakin tinggi. Beberapa pernyataan menyebutkan bahwa pilot dan awak kabin memiliki risiko kemungkinan menderita kanker lebih tinggi bila dibandingkan dengan masyarakat umum. Faktor utama yang dapat menyebabkan kanker pada pilot dan awak kabin adalah paparan radiasi pengion (proton, neutron dan gamma) dari sinar kosmis yang diterima oleh pilot dan awak kabin saat berada di udara. Keberadaan sinar kosmis yang disertai dengan paparan radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya kanker. Hal itu meningkatkan perhatian masyarakat terhadap kesehatan para pilot dan awak kabin maskapai penerbangan komersial.

Pada tahun 1999 hasil penelitian oleh *United Kingdom National Radiological Protection Board* menunjukkan bahwa rerata nilai dosis tahunan para pilot dan awak kabin (4,6 mSv/tahun) lebih besar bila dibandingkan dengan pekerja instalasi nuklir (3,6 mSv pertahun). Sedangkan sejak 13 Mei 2000 maskapai penerbangan di Uni Eropa diharuskan untuk mengukur besarnya paparan radiasi pada para pilot dan awak kabin serta menginformasikan status kesehatannya.

Pemantauan rutin terhadap kesehatan pilot dan awak kabin tercatat pernah dilakukan oleh

perusahaan penerbangan *British Airways* dan *Air France* yang mengoperasikan pesawat terbang supersonik *Concorde* yang memulai penerbangan komersialnya pada 21 Januari 1976 dan berakhir pada 24 Oktober 2003. *Concorde* di desain untuk terbang pada ketinggian 18-20 km berbeda dengan ketinggian yang umum digunakan oleh pesawat terbang subsonik yaitu 10-12 km. Pesawat *Concorde* dilengkapi dengan detektor internal untuk memantau radiasi kosmis serta memberikan informasi rerata laju dosis ekuivalen dan dosis akumulatif yang diterima selama satu rute penerbangan. Saat laju dosis sangat tinggi maka pesawat akan turun ke ketinggian yang lebih rendah sehingga nilai rerata laju dosis berada dalam nilai yang dapat diterima. Meskipun demikian, hal tersebut tidak pernah terjadi dalam 20 tahun selama *Concorde* beroperasi.

RADIASI KOSMIS

Banyak penelitian telah dilakukan dalam rangka mempelajari radiasi kosmis. Data penelitian menunjukkan adanya radiasi berenergi tinggi yang datang dari angkasa luar, beberapa diantaranya mempunyai energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan energi yang dapat dihasilkan oleh pemercepat partikel paling kuat di muka bumi saat ini. Energi radiasi kosmis berorde dari 600 MeV hingga lebih besar dari 10^{20} eV. Radiasi kosmis dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu radiasi kosmis primer dan sekunder. Radiasi kosmis yang bergerak dari

angkasa luar disebut radiasi kosmis primer. Pada saat radiasi primer memasuki bagian atas atmosfer bumi, radiasi itu bertumbukan dengan atom-atom yang ada di udara sehingga dihasilkan radiasi kosmis sekunder.

Radiasi kosmis primer selanjutnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu : (1) radiasi kosmis galaksi, (2) radiasi kosmis dari matahari dan (3) radiasi yang terperangkap dalam medan magnet bumi. Radiasi kosmis primer kelompok pertama berasal dari luar sistem tata surya dan sebagian besar berupa partikel bermuatan positif. Radiasi kosmis galaksi ini berasal dari energi yang dipancarkan oleh bintang-bintang yang ada di alam raya. Radiasi kosmis primer kelompok kedua berasal dari matahari ini terdiri atas 90% proton, 8% partikel alfa dan 1% inti-inti atom yang lebih berat seperti lithium, berilium, boron, oksigen dan besi.

Tidak semua radiasi kosmis primer dapat mencapai bumi. Pada saat partikel bermuatan listrik itu mendekati bumi, sebagian dari sinar itu ada yang terperangkap oleh medan magnet bumi. Peristiwa ini akan meningkatkan radiasi kosmis primer kelompok ketiga, yaitu radiasi yang terperangkap dalam medan magnet bumi. Karena pengaruh medan magnet bumi, maka intensitas radiasi kosmis di suatu tempat bervariasi dengan posisi lintang tempat itu. Energi yang diperlukan oleh partikel bermuatan untuk mencapai atmosfer bumi pada ekuator medan magnet bumi lebih besar dibandingkan dengan posisi lintang lainnya. Oleh sebab itu, intensitas radiasi kosmis terendah terletak pada ekuator medan magnet bumi.

Ada tiga faktor yang mempengaruhi intensitas radiasi kosmis, yaitu letak ketinggian pengukuran dari permukaan laut dan letak geografis tempat pengukuran yang berhubungan dengan letak lintang suatu tempat. Hal ini berarti meskipun pengukuran dilakukan pada ketinggian dari permukaan laut sama, namun jika letak lintangnya berbeda maka intensitas radiasi kosmis yang terukur juga berbeda. Sebaliknya, meskipun radiasi kosmis itu diukur di tempat yang sama, namun jika ketinggiannya berbeda akan menghasilkan intensitas yang berbeda.

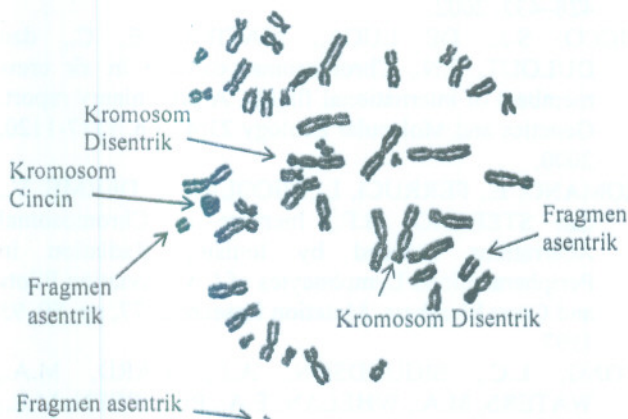
Pengukuran intensitas radiasi kosmis di daerah khatulistiwa pada ketinggian 40.000 kaki misalnya, besarnya 1/2 kali intensitas pada tempat bergaris lintang 40° dengan letak ketinggian yang sama.

EFEK SITOGENETIK PADA PILOT DAN AWAK KABIN

Radiasi ionisasi adalah penginduksi efektif untuk menyebabkan kerusakan kromosom (aberasi kromosom) yang berkaitan erat dengan risiko kanker. Studi sitogenetik terhadap pilot dan awak kabin umumnya difokuskan untuk mengetahui keberadaan aberasi kromosom tak stabil yaitu kromosom disentrik dan kromosom cincin. Aberasi kromosom akibat paparan radiasi dibagi menjadi dua kelompok yaitu aberasi kromosom stabil dan tak stabil. Aberasi kromosom stabil dalam sel tidak akan hilang setelah proses pembelahan mitosis berikutnya, contohnya adalah translokasi (terjadi perpindahan fragmen antar satu atau lebih kromosom). Sedangkan aberasi kromosom tidak stabil akan hilang setelah proses pembelahan mitosis berikutnya, contohnya adalah kromosom disentrik (kromosom dengan dua sentromer), fragmen asentrik (fragmen kromosom yang tidak mengandung sentromer) dan kromosom cincin (Gambar 1). Perubahan struktur kromosom yang spesifik akibat terinduksi paparan radiasi pada tubuh ialah kromosom disentrik.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efek sitogenetik akibat radiasi kosmis pada pilot dan awak kabin penerbangan komersial. Penelitian Romano dkk (1997) terhadap 192 sampel yang berasal dari pilot dan awak kabin penerbangan komersial di Italia menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kromosom disentrik dan cincin pada pilot dan awak kabin dibandingkan dengan kelompok kontrol yang terdiri dari 50 sampel. Peningkatan frekuensi aberasi kromosom tak stabil kelompok pilot dan awak kabin berbeda secara statistik dibandingkan dengan kelompok kontrol. Peningkatan frekuensi disentrik tertinggi terdapat pada kelompok pilot dan awak kabin yang memiliki masa kerja

terlama dan berusia diatas 50 tahun. Penelitian Heimers (2000) terhadap 18 pilot pesawat *Concorde* juga menunjukkan nilai rerata frekuensi disentrik per sel antara kelompok pilot lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Selain itu terlihat bahwa jumlah translokasi yang ditemukan pada kelompok pilot lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol (Tabel 1).



Gambar 1. Aberasi kromosom tidak stabil akibat radiasi pengion

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Picco dkk terhadap 10 pilot penerbangan komersial di Argentina yang masih aktif bekerja dan 10 pensiunan pilot menunjukkan perbedaan yang cukup tinggi pada frekuensi disentrik per seratus sel yang diamati antara kelompok pilot aktif maupun pensiunan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Hasil uji statistik dengan menggunakan uji U Mann-Whitney menunjukkan bahwa secara statistik perbedaan tersebut tidak signifikan. Perbedaan juga ditemukan pada nilai frekuensi kromosom ring pada kelompok pilot aktif lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Penelitian Yong dkk (2010) yang hanya mengamati keberadaan aberasi kromosom stabil yaitu translokasi dengan teknik *Fluorescence in situ hybridization* (FISH) pada 83 pilot pesawat penerbangan komersial di Amerika Serikat menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rerata frekuensi translokasi antara kelompok pilot dengan kelompok kontrol.

Meskipun demikian terlihat bahwa peningkatan nilai frekuensi translokasi berkaitan erat dengan lamanya jam terbang pilot. Teknik FISH merupakan suatu teknik pengecatan terhadap satu atau lebih kromosom dengan bahan berpendar (*fluorescent*) untuk memvisualisasi terjadinya aberasi kromosom stabil seperti translokasi. Pada penelitian Yong dkk (2010) pengecatan dilakukan pada kromosom nomor 1, 2 dan 4 dengan warna merah dan kromosom nomor 3, 5 serta 6 dengan warna hijau.

Tabel 1. Aberasi kromosom pada kelompok pilot *Concorde* dan kelompok kontrol

Kelompok Pilot	Total Sel diamati	Jumlah Disentrik	Jumlah Translokasi	Jumlah fragmen Asentrik
A	1001	3	9	2
B	1028	1	4	2
C	1022	0	2	4
D	1010	6	0	7
E	1023	4	3	10
F	1013	1	2	5
G	1012	2	5	6
H	329	2	1	0
J	681	0	1	4
K	653	1	3	6
L	1009	1	6	2
M	1007	2	3	7
N	1006	6	3	1
O	1010	4	6	3
P	1008	4	3	2
Q	1013	3	3	2
R	1011	10	1	6
S	1009	1	3	3
Total	16.845	51	58	66
Kelompok Kontrol	10.065	3	13	26

Penelitian Wolf dkk (1999) terhadap 58 awak kabin perempuan yang bekerja pada rute Atlantik Utara juga menunjukkan tidak ada perbedaan berarti rerata frekuensi kromosom disentrik dan cincin antara kelompok awak kabin dibandingkan dengan kelompok kontrol. Tercatat nilai rerata frekuensi kromosom disentrik dan cincin per seribu sel pada kelompok awak kabin adalah sebesar $1,3 \pm 0,2$, tidak berbeda jauh

dengan nilai rerata frekuensi kromosom disentrik dan cincin per seribu sel pada kelompok kontrol yaitu sebesar $1,4 \pm 0,2$.

PENUTUP

Pilot dan awak kabin penerbangan komersial adalah kelompok pekerja yang berisiko menerima paparan radiasi dari sinar kosmis selama bekerja. Oleh karena itu pemantauan kesehatan terutama pendeteksian keberadaan aberasi kromosom tidak stabil yaitu kromosom disentrik menjadi hal penting untuk dilakukan terhadap pilot dan awak kabin. Meskipun beberapa hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat perbedaan berarti nilai rerata frekuensi kromosom disentrik antara kelompok pilot dibandingkan dengan kelompok kontrol, efek biologis paparan radiasi kosmis terhadap pilot dan awak kabin harus tetap diwaspadai.

DAFTAR PUSTAKA

- AKHADI, M. Dasar-Dasar Proteksi Radiasi. Penerbit RINEKA CIPTA, Jakarta, 2000.
- AKHADI, M., dan SOFYAN, H. Medan Magnet Bumi: Pelindung Radiasi Bagi Penduduk Bumi, Buletin ALARA 2 (3), pp. 27 – 32. 1999.
- CAVALLO, D., MARINACCIO, A., PERNICONI, B., TOMOA, P., PECORIELLO, V., MOCCALDI, R., dan IAVOCOLI, S. Chromosomal aberrations in long-haul air crew members. *Mutation Research* 513, pp. 11–15, 2002.
- HEIMERS, A. Chromosome aberration analysis in Concorde pilots. *Mutation Research* 467, pp. 169–176, 2000.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. Technical Reports Series No. 405, IAEA, Vienna, 2001.
- LEONARD, A., RUEFF, J., GERBER, G.B., dan LEONARD, E.D., Usefulness and Limits of Biological Dosimetry Based on Cytogenetics Methods. *Radiat. Prot. Dosim* 115(1-4), pp. 448-454, 2005.
- LIM, M.K. (Review) Cosmic rays: are air crew at risk?. *Occupational and Environmental Medicine* 59, pp. 428–433, 2002.
- PICCO, S.J., DE LUCA, MACINTYRE, C., dan DULOUT, F.N., Chromosomal damage in air crew members of international flights, A preliminary report. *Genetics and Molecular Biology* 23(4), pp. 1117-1120, 2000.
- ROMANO, E., FERRUCI, L., NICOLAI, F., DERME, V., dan STEFANO, G.F., Increase of Chromosomal Aberrations Induced by Ionising Radiation in Peripheral Blood Lymphocytes of Civil Aviation Pilots and Crew Members. *Mutation Research* 377, pp. 89–93, 1997.
- YONG, L.C., SIGURDSON, A.J., WARD, M.A., WATERS, M.A., WHELAN, E.A., PETERSEN, M.R., BHATTI, P., RAMSEY, M.J., RON, E., dan TUCKER, J.D. Increased frequency of chromosome translocations in airline pilots with long-term flying experience. *Occup Environ Med*. Author manuscript; available in PMC 2010 January 1, 2010.
- WOLF, G., PIEPER, R., DAN OBE, G. Chromosomal alterations in peripheral lymphocytes of female cabin attendants. *Int J Radiat Biol*. 1999 75(7), pp. 829-836, 1999.